

Алгоритм принятия решений по результатам системного мониторинга лесопокрытых ландшафтов на территориях недропользования Урала

Татьяна Анатольевна ЛЕБЕДЕВА*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Россия, Новосибирск

Актуальность исследования. В настоящее время особую значимость для принятия обоснованных решений по освоению природного потенциала имеет информация, получаемая в процессе мониторинга, в том числе мониторинга лесных земель. Особенностью этих работ на сегодня является отсутствие совмещения процедур сбора данных, их обработки с моделями структурных элементов лесных земель, что требует решения рассматриваемой проблемы.

Целью исследования является формирование по результатам системного мониторинга системы взаимосвязанных алгоритмов принятия решений в сфере использования лесных земель в промышленных регионах.

Методология формирования системы взаимосвязанных алгоритмов принятия решений в сфере использования лесных земель в промышленных регионах базируется на использовании математических моделей природных объектов лесных экосистем, природных явлений в них и лесообразующих процессах, на процедурах комплексной оценки и оптимизации использования лесных земель в промышленных регионах в соответствии с современными положениями концепции экологически устойчивого развития территорий.

Результаты и их применение. Рассмотрены разработанные по результатам системного мониторинга алгоритмы принятия решений в сфере использования лесных земель: обоснование стратегических индикаторов устойчивого развития лесных земель в промышленных регионах в условиях современных вызовов и рисков; комплексная эколого-экономическая оценка природно-ресурсного потенциала лесных земель; определение «коридоров» допустимого использования лесных земель в промышленных регионах в конкретных природно-климатических и социально-экономических условиях; согласование индивидуальных интересов землепользователей на лесных землях с общественными предпочтениями развития промышленных регионов; многокритериальная оптимизация использования лесных земель в промышленных регионах. Изложены основные принципы прогнозирования параметров комплексной оценки лесных земель, использования показателя потребления чистой первичной продукции лесных экосистем, последовательности экологизации экономики использования лесных земель в промышленных регионах, обоснования уступок экстремальных значений частных критериев при многокритериальной оптимизации. Приведены предложенные дополнительные индикаторы устойчивого развития лесных территорий на Среднем Урале, результаты расчетов по изменению природно-ресурсного потенциала лесных земель в районе недропользования; дано обоснование многокритериальной оптимизации использования сырьевых ресурсов лесных земель.

Выводы. Предложенные алгоритмы принятия решения в сфере системного мониторинга лесных земель являются интеллектуальной поддержкой пользователей при анализе информации в сфере земельных отношений. Они обеспечивают предметный диалог, позволяющий формировать необходимую информацию в удобном для пользователя виде, вносить коррективы в процесс обработки данных и принимать решения.

Ключевые слова: системный мониторинг, лесопокрытые ландшафты, алгоритмы принятия решений, стратегические индикаторы, комплексная оценка, «коридоры» землепользования, конфликты интересов, многокритериальная оптимизация.

Введение

Системный мониторинг лесных земель представляет собой многоцелевую информационную систему наблюдений, оценки (в натуральных показателях) и прогнозирования, состоящую из мониторинга состояния лесных земель и мониторинга использования лесных земель. Достоверная информация основывается на обязательном знании о прошлом состоянии лесных земель (о параметрах, характеристиках и индикаторах коренных типов леса на конкретных территориях). Системность мониторинга лесных земель выражается в наблюдениях, начальной оценке и прогнозировании состояния и использования всего природно-ресурсного потенциала: лесных ресурсов (древесных, недревесных, дикоросов); средоформирующих функций (поддержания состава атмосферного воздуха, водоохранно-водоформирующей, климатоформирующей, почвообразующей, средозащитных функций).

В настоящее время широкое развитие получают мониторинговые системы спутникового базирования; которые позволяют получать оперативную информацию о состоянии лесных земель, накапливающуюся в соответствующих базах данных и используемую чаще всего в оперативном планировании. Развивается база географических данных с большой пространственной детализацией для региональных систем. Особенностью этих работ является отсутствие совмещения процедур сбора данных и их первичной обработки с моделями структурных элементов лесных земель – лесными экосистемами. Необходимо объединение оперативных, алгоритмических, модельных и программных средств сбора и обработки данных по лесным землям с функциями прогноза и принятия решений.

Методы

Алгоритмы принятия решений по результатам системного мониторинга лесопокрытых ландшафтов в промышленных регионах Урала базируются:

- на результатах сбора и обработки биометрических и биопродукционных параметров лесных земель;
- учете широкопространственных и долговременных последствий использования лесных земель в промышленных регионах;
- математических моделях природных объектов, явлений и процессов в пространстве (динамика соотношения древостоев по породному составу и типам лесовосстановления в производных лесах) и времени (изменения биометрических и биопродукционных параметров лесных земель);
- многокритериальной оптимизации использования лесных земель в промышленных регионах.

✉ taranova.ekb@bk.ru

Результаты

Основные разработанные по результатам системного мониторинга алгоритмы принятия решений в сфере использования лесных земель включают:

- обоснование стратегических индикаторов устойчивого развития лесных земель в промышленных регионах в условиях современных вызовов и рисков;
- комплексную эколого-экономическую оценку природно-ресурсного потенциала лесных земель;
- определение «коридоров» допустимого использования лесных земель в промышленных регионах в конкретных природно-климатических и социально-экономических условиях;
- согласование индивидуальных интересов землепользователей на лесных землях с общественными предпочтениями развития промышленных регионов;
- многокритериальную оптимизацию использования лесных земель в промышленных регионах на основе эколого-экономических и социальных показателей.

Обоснование стратегических индикаторов устойчивого развития лесных земель

Устойчивое управление лесами (лесными землями) [1] включает вопросы лесной политики, организации лесного дела, инвентаризации лесов и ведение лесного хозяйства (заготовка лесных ресурсов, лесовосстановление, охрана и защита лесов). На первом этапе разработки «Концепции устойчивого развития лесных земель (лесов)» существовало суждение о том, что лесные земли являются очень ценным имуществом, но имуществом особого рода, потому что блага, приносимые лесами, зачастую средоформирующие функции не подлежат материальной оценке. В связи с этим оборот лесных земель должен быть урегулирован, исходя из презумпции экологических приоритетов в использовании лесов, т. е. материальная оценка всего комплекса благ лесных земель считалась практически неосуществимой. Теперь же разработанные методология [2, 3], научные принципы [4] и информационное методическое обеспечение земельно-очередных работ по лесным землям [5] позволяют перейти к устойчивому управлению лесами.

Осуществлена корректировка индикаторов «Монреальского процесса» [6] к эколого-экономическим и социальным условиям Среднего Урала, поскольку в их совокупности отсутствуют важные критерии:

- характеризующие трансформацию лесных ландшафтов за 300-летний период промышленного освоения и развития территории;
- характеризующие изменение потребления обществом чистой первичной продукции (ЧПП) экосистем лесных земель.

Количественным измерителем чистой первичной продукции в природных системах являются [7] доли ненарушенных (коренных типов леса), полунарушенных (лесные земли с производными лесонасаждениями) и нарушенных земель (земли сельхозугодий, населенных пунктов, промышленных объектов). Предложенные дополнительные индикаторы устойчивого развития лесных земель, характеризующие трансформацию лесных ландшафтов в Свердловской области, представлены в табл. 1. Они позволяют:

- количественно оценить соответствие существующего состояния использования лесных земель условиям устойчивого управления ими;
- обосновать «коридоры» допустимого изъятия ЧПП из природных экосистем на лесных землях.

Комплексная эколого-экономическая оценка природно-ресурсного потенциала лесных земель в промышленных регионах по данным системного мониторинга

Комплексная оценка лесопокрываемых ландшафтов производится по данным мониторинга биометрических [8] и биопродукционных [9] параметров с учетом их трансформации [10, 11] от антропогенного и техногенного воздействий в промышленных регионах. Комплексным критерием оценки является оценка лесных ресурсов и основных средоформирующих функций. Основные принципы дисконтирования будущих эффектов лесопокрываемых ландшафтов на территориях недропользования Урала приведены в табл. 2. В табл. 3 приведены результаты расчетов по данным системного мониторинга состояния лесных экосистем в регионе функционирования горнодобывающих комплексов (Нижне-Тагильский лесокатастровый район).

Определение «коридоров» допустимого использования лесных земель в промышленных регионах

Определение «коридоров» допустимого использования лесных земель производится по экологическим параметрам (уровню сохранения естественных экосистем, по балансу природных и антропогенных потоков энергии – биомассы в окружающей среде, по степени изъятия природных ресурсов и объектов – растительного покрова, почвы, земельных участков), по социальным параметрам (занятость населения в экономике региона, состояние здоровья населения, сохранение социальных функций природных ландшафтов) и по экономическим параметрам (технологическим, техническим, по затратам, доходам).

Экологические параметры «коридоров» допустимого недропользования лесных земель объединены общим показателем – допустимым потреблением обществом чистой первичной продукции биосферы (ЧППБ). В естественных (ненарушенных) экосистемах позвоночные животные, в том числе и человек, потребляли не более 1 % ЧППБ [7]; к началу XX в. – уже более 2 % [19]. Баланс потребления чистой первичной продукции был проведен в 1991 г. для Австрии [19]. Анализ величины потребления чистой первичной продукции для России был выполнен в 1993 г. [20]. Было показано, что к среднемировому уровню этот показатель приближался только для освоенной территории Европейской части России. В настоящее время площадь освоенных хозяйственной деятельностью территорий (нарушенных экосистем) в мире достигает 60 %, что соответствует потреблению человеком более 10 % чистой первичной продукции биосферы, т. е. уже серьезно нарушена замкнутость круговорота биогенов (CO₂, соединения азота, фосфора, калия), существенно сокращается биоразнообразие.

В табл. 4 приведены показатели потребления чистой первичной продукции на территории Свердловской области (2016 г.). По уровню потребления ЧПП лесных земель экологически устойчивому развитию соответствуют территории трех лесокатастровых районов Свердловской области (Ивдель-Оусский, Серовский и Тавдинский); нарушенные земли занимают 4,7–11,9 %. Два лесокатастровых района области подошли к напряженному уровню экологически устойчивого

Таблица 1. Предложенные дополнительные индикаторы устойчивого развития лесных территорий в Свердловской области.
Table 1. Proposed additional indicators of sustainable development of forest areas in the Sverdlovsk region.

Индикаторы	Основные параметры индикаторов	
	Статические	Динамические
Уровень сохранения коренных экосистем на лесных землях	Сохранившиеся горные леса Сохранившиеся равнинные леса Сохранившиеся заболоченные леса	Сокращение при увеличении коренных экосистем
Кратность основного лесопользования на лесных землях (рубка леса)	Доля территорий: – с одnorазовой рубкой леса – двухразовой рубкой леса – трехразовой рубкой леса	Сокращение лесных земель со сплошными рубками Увеличение площадей лесных земель с постепенными и выборочными рубками
Уровень загрязнения компонентов экосистем на лесных землях	Доля территорий: – с радиоактивным загрязнением древесины – химическим загрязнением почв – химическим загрязнением воды	Расширение территорий лесных земель: – с изолированными радиоактивно загрязненными древостоями – рекультивированными лесными почвами, восстановленными лесопокрытыми водосборами
Социальная значимость лесных земель	Доля лесных земель, выполняющих: – рекреационную роль – оздоровительную роль – воспитательно-образовательную роль – эстетическую роль	Увеличение площади лесных земель: – с восстановленными рекреационными и оздоровительными зонами – обустроенными рекреационными и оздоровительными зонами – естественной информативностью воспитательно-образовательных и эстетических участков лесных земель
Потребление обществом чистой первичной продукции экосистем лесных земель	Доля ненарушенных земель (земли с коренными типами леса) Доли полунарушенных земель (земли с производными типами леса, некоторые сельхозугодия) Нарушенные земли (земли населенных пунктов, промышленных, транспортных и энергетических предприятий)	Тренды изменения параметров индикаторов

Таблица 2. Принципы дисконтирования эффектов лесных земель в промышленных регионах.
Table 2. Principles of discount effects of forest lands in industrial regions.

Условия оценки и вид расчетной формулы	Литературные источники (основные)
<i>Разовая реализация эффектов лесных земель</i>	
Оценка будущей древесины D в момент посадки леса: $\mathcal{E} = \frac{D}{(1+P)^T}$	А. М. Шустер (1969) [12] К. Г. Гофман (1974) [13] И. В. Туркевич (1977) [9]
Оценка будущей древесины D в момент t периода $(0, T)$: $\mathcal{E} = \frac{D}{(1+P)^{T-t}}$	В. В. Варанкин (1974) [14]
Оценка в момент суммы годовых эффектов R за интервал τ : $\mathcal{E} = \frac{D=R\tau}{(1+P)^{(T-t/2-t)}}$	Н. И. Кожухов (1988) [15]
<i>Постоянная реализация эффектов лесных земель</i>	
Оценка суммы ежегодных эффектов R за бесконечный период времени $(0, T)$: $\mathcal{E} = \frac{R}{P}$	Рослесхоз, 2000 г. [16] Росземкадастр [17]
Оценка суммы интервальных (за интервал τ) эффектов R за бесконечный период времени $(0, T)$: $\mathcal{E} = \frac{R}{(1+P)^\tau - 1}$	К. Г. Гофман (1977) [13]
Оценка суммы ежегодных эффектов R за ограниченный период времени $(0, T)$: $\mathcal{E} = R \frac{[(1+P)^T - 1]}{P(1+P)^T}$	К. Г. Гофман (1977) [13] П. Пирс (1992) [18]

Таблица 3. Оценка по результатам системного мониторинга природно-ресурсного потенциала лесных земель в Нижне-Тагильском лесокатастровом районе (районы разработки Гусевогорского, Собственно-Качканарского, Высокогорского месторождений полезных ископаемых).**Table 3. Evaluation based on the results of systematic monitoring of the natural resource potential of forest lands in the Nizhniy-Tagil forest cadastral region (development areas of the Gusevogorsky, Sobstvenno-Kachkanarsky, Vysokogorsky mineral deposits).**

Порода	Класс бонитета	Оценка отдельных видов природных благ лесных земель				
		Лесные ресурсы	Поддержание состава воздуха атмосферы	Водоохранно-водорегулирующая	Климато-образующая	Почвообразующая
Сосна	II	43,3	44,8	69,4	23,4	42,0
	III	35,2	33,9	47,6	18,9	29,7
	IV-V	18,7	16,1	20,3	8,4	12,2
Ель	II	41,9	40,2	68,2	19,6	40,6
	III	30,2	37,4	63,0	19,2	37,1
	IV-V	13,8	29,0	43,1	18,2	25,2

Таблица 4. Показатели потребления чистой первичной продукции (ЧПП) на территории Свердловской области (2016 г.), %.**Table 4. Indicators of consumption of net primary production (NPP) in the Sverdlovsk region (2016), %.**

Лесокатастровый район	Ненарушенные земли	Полунарушенные земли (земли с	Нарушенные земли
	(земли с коренными типами леса)	производными лесами)	
Ивдель-Оусский	27,6	67,7	4,7
Серовский	24,2	67,3	8,5
Тавдинский	19,3	68,8	11,9
Ново-Лялинский	14,8	71,5	13,7
Нижнетагильский	12,7	68,9	18,4
Алапаевский	15,8	66,6	17,6
Туринский	14,3	71,2	14,5
Красноуфимско-Шалинский	8,1	60,0	31,9
Екатеринбургский	17,2	55,2	24,0
Припышминский	7,4	62,8	28,0
<i>Итого</i>	16,8	60,9	22,3

развития; нарушенные земли доходят до 15 %. Три лесокатастровых района Свердловской области (Красноуфимско-Шалинский, Екатеринбургский, Припышминский) имеют катастрофический уровень экологического состояния; нарушенные земли, не производящие ЧПП природных экосистем, уже занимают здесь 24–32 % территории.

Согласование индивидуальных интересов землепользователей лесных земель с общественными предпочтениями развития промышленных регионов

Основные особенности соотношений индивидуальных и общественных интересов при использовании лесных земель в промышленных регионах заключаются, главным образом, в следующем:

- индивидуальные интересы состоят в максимальной прибыли за относительно короткий период времени, а общественные предпочтения – в долговременном, постоянном использовании лесных земель;
- индивидуальные интересы не отражают комплексность использования ресурсов лесных земель, а общественные предпочтения состоят в оптимальном использовании всей совокупности лесных (природных) благ;
- индивидуальные интересы игнорируют системный характер лесных земель (взаимосвязи в лесных экосистемах), а общественные предпочтения воспринимают участки лесных земель как взаимосвязанный элемент глобальной системы растительного покрова территории.

Алгоритм согласования индивидуальных интересов и общественных предпочтений состоит:

- в последовательной экологизации экономики использования лесных земель от существующей ее формы в виде максимизации доходов (за счет снижения собственных затрат) сначала к учету и дисконтированию экстерналий издержек, а затем к экономике устойчивого развития – «зеленой» экономике [21] с максимальным учетом последствий и минимизации негативных воздействий;
- обосновании соотношений рыночных ставок дисконтирования пользователей лесных земель [18] и ставок дисконтирования общественных предпочтений [22];
- обосновании (определении) уступок интересам индивидуальных пользователей и общественным предпочтениям на основе анализа зависимостей критериев от вариантов землепользования [23].

Последовательность оценки экологизации экономики использования лесных земель в промышленных регионах при согласовании индивидуальных интересов землепользователей с общественными предпочтениями развития территории приведена в табл. 5.

Оптимизация использования лесных земель

Для раскрытия неопределенности оптимальных решений составляется матрица n вариантов землепользования [23]. Далее рассчитываются дополнительные специальные критерии раскрытия неопределенности оптимальных решений в использовании лесных земель.

Таблица 5. Последовательность экологизации экономики использования лесных земель (в том числе для целей «... разработки месторождений полезных ископаемых» – Статьи 21 и 25 «Лесного кодекса РФ» в форме их аренды на срок до 49 лет).
Table 5. Consistency of greening the economy of forest land use (including for the purposes of "... development of mineral deposits" – Articles 21 and 25 of the "Forest Code of the Russian Federation" in the form of leases for up to 49 years).

Вид дисконтированных доходов	Определение дисконтированного дохода
Дисконтированный доход недропользователя (землепользователя) за период T лет – срок разработки месторождения	$\Theta = \sum_{t=1}^T \frac{R_t - (3_t + 3_{et})}{(1 + P_t)^t} \rightarrow \max$
Учет общей суммы издержек недропользователя (землепользователя) за период T лет – срок разработки месторождения	$\Theta = \sum_{t=1}^T \frac{R_t - (3_t + 3_{et} + C_t)}{(1 + P_t)^t} \rightarrow \max$
Учет долговременных эколого-экономических последствий недропользования (землепользования) за период более T лет – после закрытия производства	$\Theta = \sum_{t=1}^T \frac{R_t - (3_t + 3_{et} + C_t)}{(1 + P_t)^t} \pm \sum_{t=T+1}^{\infty} \frac{Y_t}{(1 + P_t)^t}$

Примечание: R – стоимость продукции землепользования; 3 – величина затрат (издержек); 3_{et} – экологические издержки производства, включающие затраты на предотвращение вреда окружающей среде (например, на очистные сооружения) и экономического ущерба от загрязнения окружающей среды (например, платы за выбросы загрязняющих веществ); P – показатель дисконта (для индивидуальных природопользователей в пределах 0,08–0,12, в основном зависит от складывающейся на рынке процентной ставки); C_t – экстерналии издержки; Y_t – сумма долговременных эколого-экономических последствий за период, значительно больший T .
 Note: R is the cost of land use products; $3=C$ (costs); C_t – the amount of costs (costs); C_{et} – environmental production costs, including the costs of preventing environmental damage (e.g. waste treatment facilities) and economic damage from environmental pollution (e.g. pollutant emissions charges); P – discount indicator (for individual natural resource user in the range of 0.08–0.12, mainly depends on the market interest rate); C_t – external costs; Y_t is the sum of long-term environmental and economic consequences for a period significantly greater than T .

Критерий «средних затрат» в землепользовании определяется по максимальному из средних значений показателя P для каждой совокупности параметров состояния:

$$\max_j = \left(\frac{P_{1j} + \dots + P_{ij} + \dots + P_{6j}}{6} \right) = \max P_j,$$

где P_{ij} – показатель эффективности i -го варианта с j -й совокупностью параметров.

Критерий «минимаксных затрат». При использовании критерия «минимаксных затрат» выбирают вариант землепользования, для которого худший результат лучше, чем худший для любого другого варианта:

$$\max_j P_j^{\min} = \min_i \max_j P_{ij},$$

Критерий «минимаксного риска». Для особо сложных случаев организации землепользования рациональный вариант выбирают по критерию «минимаксного риска». При этом разница P_{ij} преобразуется в матрицу рисков R_{ij} согласно соотношению

$$P_{ij} = P_{ij} - P_i^{\max} = P_{ij} - \max_j \bar{P}_{ij}.$$

Смысл этого критерия сводится к устранению риска слишком больших потерь при появлении экстремальных условий функционирования объектов землепользования (изменение климата, риски наводнений, природных пожаров, риски болезней и распространения вредителей флоры и фауны на лесных землях). На этом заканчивается алгоритм однокритериальной оптимизации использования лесных земель на основе данных системного мониторинга и информационного обеспечения комплексной оценки лесных земель; далее – непосредственно сама многокритериальная оптимизация.

Многокритериальная оптимизация использования лесных земель на основе эколого-экономических и социальных показателей (критериев) состоит в строгом формализованном представлении данной задачи [24–26]: выбор и обоснование частных критериев оптимизации отдельно по экологическому, социальному, экономическому и технологическому факторам; определение экстремальных значений частных критериев эффективности использования лесных земель, раскрытие в случае необходимости неопределенности однокритериальных оптимальных решений (при наличии нескольких различающихся вариантов землепользования около экстремального значения критерия); обоснование на основе частных критериев (экологического, социального, экономического, технологического) комплексного критерия оптимизации в форме интегрального критерия на основе приведения всех измерителей критериев к денежной форме или к иным измерителям, например, на основе распределения энергий [27, 28] или в векторной форме (решаемого лексикографическим методом или методом уступок [29–31]).

Основные положения многокритериальной оптимизации использования земель в промышленных районах недропользования по экономическим измерителям изложены в публикации [32].

Заключение

Стратегические приоритеты и индикаторы многоцелевого использования лесных земель имеют четкую очередность: экологические, социальные и, наконец, экономические. В старопромышленных регионах Среднего и Южного Урала они отражают негативные последствия от накопленных промышленных отходов и необходимость поддержания усложняющегося землепользования. На Северном и Приполярном Урале стратегические приоритеты использования лесных земель отражают поддержание традиционного землепользования у малочисленных народов Севера.

Предложенные алгоритмы принятия решения в сфере системного мониторинга лесных земель являются интеллектуальной поддержкой пользователей при анализе информации в сфере земельных отношений. Они обеспечивают предметный диалог, позволяющий формировать необходимую информацию в удобном для пользователя виде, вносить коррективы в процесс обработки данных и принимать решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпачевский М. Л. и др. Основы устойчивого лесоуправления. М.: WWF, 2009. 143 с.
2. Лебедев Ю. В. Оценка лесных экосистем в экономике природопользования. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 583 с.
3. Sellers P. J., Dickinson R. E., Randall D. A., Betts A. K., Hall F. G., Berry J. A., Collatz G. J., Denning A. S., Mooney H. A., Nobre C. A., Sato N., Field C. B., Henderson-Sellers A. Modeling the exchanges of energy, water, and carbon between continents and the atmosphere // Science. 1997. Vol. 275. P. 502–509. <https://doi.org/10.1126/science.275.5299.502>
4. Лебедев Ю. В. Методология, принципы и практика оценки лесных экосистем // Изв. вузов. Лесной журнал. 2015. № 2. С. 9–20.
5. Крупинин Н. Я., Лебедева Т. А. Информационное обеспечение оценочных работ по лесным землям Среднего Урала (территории недропользования). Екатеринбург: УГГУ, 2015. 159 с.
6. Монреальский процесс: критерии и индикаторы сохранения и устойчивого управления лесами умеренной и бореальной зон // Лесохозяйственная информация. 2008. № 10. С. 89–96.
7. Горшков В. Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. М.: ВИНТИ, 1995. 472 с.
8. Kondratyev K. Y., Krapivin V. F., Varotsos A. Global Carbon Cycle and Climate Change. Chichester, U. K.: Springer Praxis Books, 2003. 343 p.
9. Krapivin V. F., Shutko A. M. Information technologies for remote monitoring of the environment. Chichester, U. K.: Springer Praxis Books, 2012. 498 p.
10. Walter L. L., Breckle S. W. Ecological systems of the geosphere. Berlin: Springer Verlag, 1985. 242 p.
11. Watson R. T., Noble I. R., Bolin B., Ravindranath N. H., Verardo D. J., Dokken D. J. Land use, Land-use change, and forestry. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 875 p.
12. Шустер А. М. Фактор времени в оценке экономической эффективности капитальных вложений. М.: Наука, 1969. 243 с.
13. Гофман К. Г. Учет фактора времени при экономической оценке лесных земель // Экономическая оценка лесных земель. М., 1974. С. 72–76.
14. Варанкин В. В. Методологические вопросы региональной оценки природных ресурсов. М.: Наука, 1974. 239 с.
15. Кожухов Н. И. Экономика воспроизводства лесных ресурсов. М.: Лесная промышленность, 1988. 262 с.
16. Методика экономической оценки лесов: постановление № 43 от 10.03.2000 г. М.: Рослесхоз, 2000. 31 с.
17. Методика государственной кадастровой оценки земель Лесного фонда РФ: утв. Росземкадастром 15.04.2002 г. № П/263. 49 с.
18. Пирс П. Х. Введение в лесную экономику: пер. с англ. М.: Экология, 1992. 224 с.
19. Данилов-Данильян В. И., Лосев К. С. Экологический вызов и устойчивое развитие. М.: Прогресс-Традиция, 2000. 416 с.
20. Лосев К. С., Потапов И. И., Чеснокова И. В., Докукина Т. П. Экстерналии с позиций современной экологии // Экономика природопользования. 2008. № 5. С. 3–8.
21. Гусев А. А. Пути формирования «зеленой» экономики в России // Экономика природопользования. 2014. № 1. С. 28–36.
22. Robert M. Solow. The Economics of Resources or the Resources of Economics // American Economic Review: Papers and Proceedings. 1974. Vol. 64, № 2. P. 1–14. <https://www.jstor.org/stable/1816009>
23. Лебедева Т. А., Коковин П. А., Арефьев С. А. Научные основы устойчивого землепользования в промышленных регионах // Изв. вузов. Горный журнал. 2017. № 4. С. 19–27.
24. Марчук Г. И. Окружающая среда и проблемы оптимизации // Тр. МИАН СССР. 1984. Т. 166. С. 123–129.
25. Мелентьев Л. А. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики. М.: Высш. школа, 1976. 320 с.
26. Попырин Л. С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок. М.: Энергия, 1978. 416 с.
27. Подолинский С. А. Труд человека и его отношение к распределению энергии. Изд. 2-е / Сер. «Мыслители Отечества». М.: Белые Альфы, 2005. 160 с.
28. Большаков В. Н., Корытин Н. С., Кряжемский Ф. В., Шишмарев В. М. Новый подход к оценке стоимости биотических компонентов экосистем // Экология. 1998. № 5. С. 339–448.
29. Fishburn P. C. Lexicographic Orders, Utilities and Decision Rules: A Survey // Management science. 1974. Vol. 20, № 11. С. 1442–1471. <https://doi.org/10.1287/mnsc.20.11.1442>
30. Grabovsky W. Lexicographic and time minimization in the transportation problem. Warszawa, 1972. 142 с.
31. Подиновский В. В., Гаврилов В. М. Оптимизация по последовательно применяемым критериям. М.: Ленанд, 2016. 192 с.
32. Лебедев Ю. В., Кокарев К. В. Решение многокритериальных задач в недропользовании методом последовательных уступок // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: сб. докл. конф. Екатеринбург: УГГУ, 2016. С. 133–136.

Статья поступила в редакцию 01 ноября 2019 года

Decision-making algorithm based on the results of systematic monitoring of forested landscapes in the subsoil use territories of the Urals

Tatiana Anatolievna LEBEDEVA*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia

Relevance of the research. Currently, information obtained during monitoring, including monitoring of forest lands, is of particular importance for making informed decisions on the development of natural potential. A feature of these works today is the lack of combination of data collection procedures, their processing with models of structural elements of forest lands, which requires a solution to the problem under consideration. The aim of the study is to form, according to the results of system monitoring, a system of interconnected decision-making algorithms in the field of forest land use in industrial regions.

The methodology for the formation of a system of interrelated decision-making algorithms in the field of forest land use in industrial regions is based on the use of mathematical models of natural objects of forest ecosystems, natural phenomena in them and forest-forming processes, on the procedures of a comprehensive assessment and optimization of forest land use in industrial regions in accordance with current provisions of the concept of environmentally sustainable development of territories.

Results and their application. The following decision-making algorithms for the use of forest lands developed based on the results of system monitoring are considered: substantiation of strategic indicators of sustainable development of forest lands in industrial regions in the face of modern challenges and risks; integrated environmental and economic assessment of the natural resource potential of forest lands; definition of "corridors" of permissible use of forest land in industrial regions in specific climatic and socio-economic conditions; coordination of individual interests of land users on forest lands with social preferences for the development of industrial regions; multi-criteria optimization of forest land use in industrial regions. The basic principles of forecasting the parameters of a comprehensive assessment of forest lands, the use of an indicator of the consumption of net primary production of forest ecosystems, the sequence of greening the economy of forest land use in industrial regions, the justification of concessions to the extreme values of particular criteria in multicriteria optimization are described. The proposed additional indicators of sustainable development of forest areas in the Middle Urals, the results of calculations to change the natural resource potential of forest lands in the subsoil use area are presented; substantiation of multicriteria optimization of the use of forest land raw materials is given.

Conclusions. The proposed decision-making algorithms in the field of systematic monitoring of forest lands are the intellectual support of users in the analysis of information in the field of land relations. They provide a substantive dialogue that allows you to generate the necessary information in a user-friendly way, make adjustments to the data processing process and make decisions.

Keywords: system monitoring, forested landscapes, decision-making algorithms, strategic indicators, integrated assessment, "corridors" of land use, conflicts of interest, multi-criteria optimization.

REFERENCES

1. Karpachevsky M. L. et al. 2009, *Osnovy ustoychivogo lesoupravleniya* [Fundamentals of sustainable forest management]. Moscow, 143 p.
2. Lebedev Yu. V. 2011, *Otsenka lesnykh ekosistem v ekonomike prirodopol'zovaniya* [Assessment of forest ecosystems in environmental economics], Ekaterinburg, 583 p.
3. Sellers P. J., Dickinson R. E., Randall D. A., Betts A. K., Hall F. G., Berry J. A., Collatz G. J., Denning A. S., Mooney H. A., Nobre C. A., Sato N., Field C. B., Henderson-Sellers A. 1997, Modeling the exchanges of energy, water, and carbon between continents and the atmosphere. Vol. 275. P. 502–509. <https://doi.org/10.1126/science.275.5299.502>
4. Lebedev Yu. V. 2015, Methodology, principles and practice of assessing forest ecosystems. *Izvestiya vuzov. Lesnoy Zhurnal* [Bulletin of Higher Educational Institutions. Forestry Journal], No 2, P. 9–20. (In Russ.)
5. Krupinin N. Ya., Lebedeva T. A. 2015, *Informatsionnoye obespecheniye otsenochnykh rabot po lesnym zemlyam Srednego Urala (territorii nedropol'zovaniya)* [Information support of valuation work on forest lands of the Middle Urals (subsoil use territory)]. Yekaterinburg, 159 p.
6. 2008, The Montreal Process: criteria and indicators of conservation and sustainable forest management of the temperate and boreal zones. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry Information], No 10, P. 89–96. (In Russ.)
7. Gorshkov V. G. 1995, *Fizicheskiye i biologicheskiye osnovy ustoychivosti zhizni* [Physical and biological foundations of life sustainability], Moscow, 472 p.
8. Kondratyev K. Y., Krapivin V. F., Varotsos A. 2003, *Global Carbon Cycle and Climate Change*. Chichester, U. K.: Springer Praxis Books, 343 p.
9. Krapivin V. F., Shutko A. M. 2012, *Information technologies for remote monitoring of the environment*. Chichester, U. K.: Springer Praxis Books, 498 p.
10. Walter L. L., Breckle S. W. 1985, *Ecological systems of the geosphere*. Berlin: Springer Verlag, 242 p.
11. Watson R. T., Noble I. R., Bolin B., Ravindranath N. H., Verardo D. J., Dokken D. J. 2000, *Land use, Land-use change, and forestry*. Cambridge: Cambridge University Press, 875 p.
12. Schuster A. M. 1969, *Faktor vremeni v otsenke ekonomicheskoy effektivnosti kapital'nykh vlozheniy* [The time factor in assessing the economic efficiency of capital investments], Moscow, 243 p.
13. Hoffman K. G. 1995, 1974, *Faktor vremeni v otsenke ekonomicheskoy effektivnosti kapital'nykh vlozheniy* [The time factor in assessing the economic efficiency of capital investments]. Economic assessment of forest land. Moscow, P. 72–76.
14. Varankin V. V. 1974, *Metodologicheskiye voprosy regional'noy otsenki prirodnykh resursov* [Methodological issues of regional assessment of natural resources], Moscow, 239 p.
15. Kozhukhov N. I. 1988, *Ekonomika vosproizvodstva lesnykh resursov* [Economics of reproduction of forest resources]. Moscow, 262 p.
16. 2000, *Methods of economic valuation of forests: Resolution No 43 of March 10, 2000* Moscow, 31 p.
17. 2002, *Methods of State Cadastral Assessment of Land of the Forest Fund of the Russian Federation: approved by Federal Land Inventory Service of Russia, 15.04.2002 г. No P. 263.* 49 p.
18. Peter H. Pearce 1992, *Introduction to Forestry Economics*, translated from English, Moscow, 224 p.
19. Danilov-Danilyan V. I., Losev K. S. 2000, *Ekologicheskyy vyzov i ustoychivoye razvitiye* [Environmental challenge and sustainable development], Moscow, 416 p.
20. Losev K. S., Potapov I. I., Chesnokova I. V., Dokukina T. P. 2008, Externalities from the standpoint of modern ecology. *Ekonomika prirodopol'zovaniya* [Environmental economics], No 5, P. 3–8. (In Russ.)

✉ taranova.ekb@bk.ru

21. Gusev A. A. 2014, Ways to create a green economy in Russia. *Ekonomika prirodopol'zovaniya* [Environmental economics], No 1, P. 28–36. (In Russ.)
22. Robert M. Solow. 1974, The Economics of Resources or the Resources of Economics. *American Economic Review: Papers and Proceedings*. Vol. 64, No 2. P. 1–14. <https://www.jstor.org/stable/1816009>
23. Lebedeva T. A., Kokovin P. A., Arefiev S. A. 2017, Scientific bases of sustainable land use in industrial regions. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], No 4, P. 19–27. (In Russ.)
24. Marchuk G. I. 1984, *Okruzhayushchaya sreda i problemy optimizatsii* [Environment and optimization issues], vol. 166, P. 123–129.
25. Melentiev L. A. 1976, *Optimizatsiya razvitiya i upravleniya bol'shikh sistem energetiki* [Optimization of the development and management of large energy systems], Moscow, 320 p.
26. Popyrin L. S. 1978, *Matematicheskoye modelirovaniye i optimizatsiya teploenergeticheskikh ustanovok* [Mathematical modeling and optimization of heat power plants], Moscow, 416 p.
27. Podolinsky S. A. 2005, *Trud cheloveka i yego otnosheniye k raspredeleniyu energii* [Human labor and its relation to energy distribution]. Second edition/Series "Thinkers of the Fatherland". Moscow, 160 p.
28. Bolshakov V. N., Korytin N. S., Kryazhensky F. V., Shishmarev V. M. 1998, New approach to assessing the value of biotic components of ecosystems. *Ekologiya* [Ecology], No 5, P. 339-448.
29. Fishburn P. C. 1974, Lexicographic Orders, Utilities and Decision Rules: A Survey. Vol. 20, No 11. P. 1442–1471. <https://doi.org/10.1287/mnsc.20.11.1442>
30. Grabovsky W. 1972, Lexicographic and time minimization in the transportation problem. 142 p.
31. Podinovskiy V. V., Gavrilov V. M. 2016, *Optimizatsiya po posledovatel'no primenyayemykh kriteriyam* [Optimization according to consistently applied criteria]. Moscow, 192 p.
32. Lebedev Yu. V., Kokarev K. V. 2016, *Resheniye mnogokriterial'nykh zadach v nedropol'zovanii metodom posledovatel'nykh ustupok. Innovatsionnyye geotekhnologii pri razrabotke rudnykh i nerudnykh mestorozhdeniy* [The solution of multicriteria problems in subsoil use by the method of successive concessions. Innovative geotechnologies in the development of ore and non-ore deposits]: book of reports, Ekaterinburg, P. 133–136.

The article was received on November 01, 2019